

ФЕРРОСЕЙСМОМЕТР С УПРУГИМ ПОДВЕСОМ

И.В.Брякин

Институт автоматики и информационных технологий НАН КР

В настоящее время непрерывное отслеживание и прогнозирование поведения различных процессов на Земле, как природного, так и техногенного характера, особенно в городах-мегаполисах, в районах нефтегазодобывающих и открытых разработок полезных ископаемых, стало актуальной задачей.

Во всем мире ведутся непрерывные комплексные геофизические наблюдения, ориентированные на разработку новых методов геофизического мониторинга напряженно-деформированного состояния геосреды и прогноза землетрясений. На пунктах наблюдения проводятся соответствующие геоакустические измерения с использованием, как правило, сейсмодатчиков, с помощью которых и определяют средний уровень геоакустической эмиссии (ГАЭ) [1, 2].

Если в области создания сейсморазведочных станций за последние годы наметился определенный прогресс, выразившийся в переходе от аналоговых к цифровым станциям, а от последних к измерительно-вычислительным комплексам (ИВК), то в области первичных преобразователей информации для сейсморазведки прогресс не столь заметен и выразился в совершенствовании лишь отдельных деталей преобразователей в рамках уже известных решений. Это привело к тому, что технические характеристики первичных преобразователей улучшаются очень медленно. Вместе с тем в сейсморазведочных ИВК, как и в большинстве современных измерительных систем, достоверность получаемой геофизической информации в значительной степени обусловлена именно параметрами первичных преобразователей.

Учитывая, что первичные преобразователи для сейсморазведки являются наиболее массовой продукцией геофизического приборостроения, то задача разработки новых принципов построения, определяющих перспективы их дальнейшего развития приобретает первостепенное значение.

В результате проведенного анализа свойств ферромодуляционных сейсмоприемников [3-5] было установлено, что на базе ферромодуляционных преобразователей возможно создание нового класса сейсмодатчиков, который условно может быть назван «ферросейсмометры».

Базовый вариант из этого нового класса сейсмодатчиков представлен на рисунке 1.

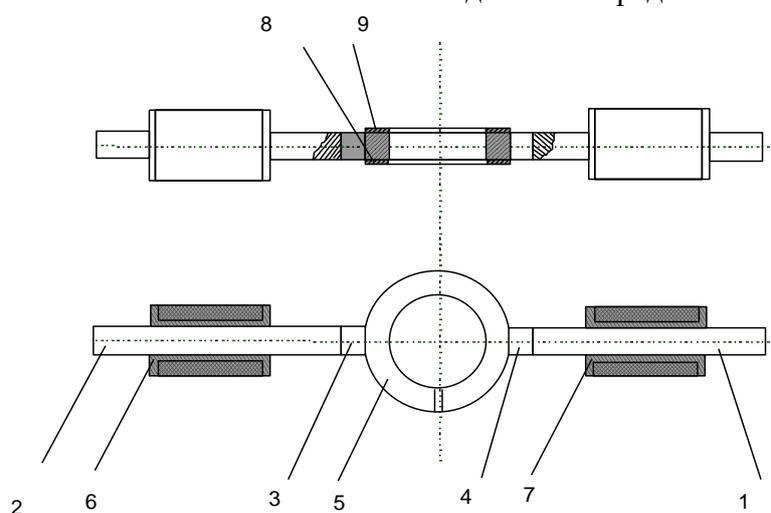


Рисунок 1 – Базовый вариант ферросейсмометра.

«Ферросейсмометр» (ФС) состоит из двух цилиндрических ферритовых стержней

(полуэлементов 1 и 2); кольцевого ферритового модулятора 5 с двумя электродами из фольгированного стеклотекстолита в виде разрезных колец 8 и 9; двух цилиндрических магнитов 3 и 4, обеспечивающих режим постоянного подмагничивания полуэлементов 1 и 2; приемных катушек 6 и 7.

Принцип и особенности основных режимов функционирования такого магнитомодуляционного преобразователя подробно рассмотрены в [6].

Специфика конструкции модулятора обеспечивает данному варианту феррозонда режим градиентометра, обладающего внутренним свойством компенсации фоновых автокоррелированных геомагнитных полей. Такой преобразователь обладает высокой чувствительностью к локальным неоднородностям естественного геомагнитного поля и существенной ориентационной инвариантностью к однородным фоновым магнитным полям.

Графическая интерпретация функционирования такого феррозонда в режиме градиентометра представлена на рисунке 2.

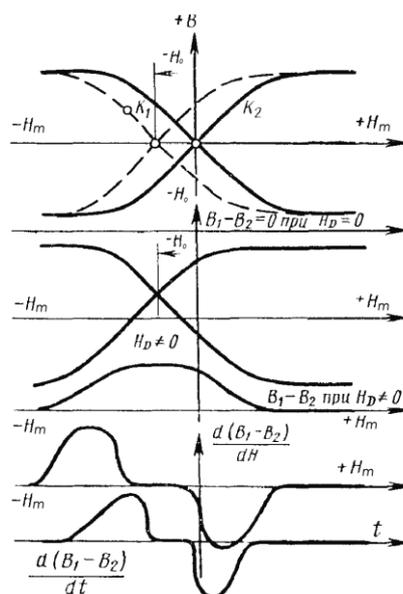


Рисунок 2 – Режим работы феррозонда -градиентометра

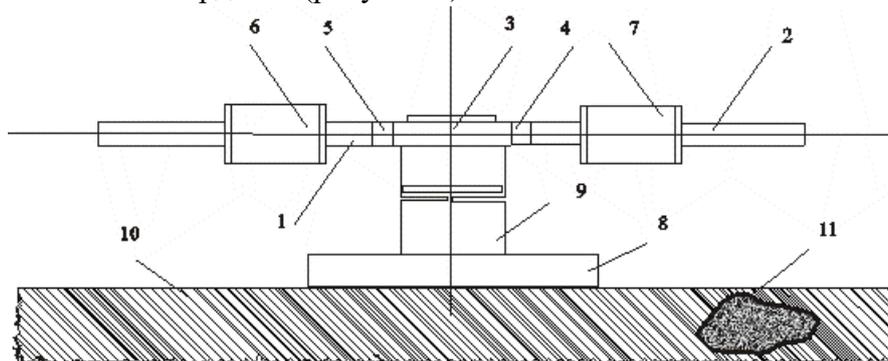
В случае, когда в месте расположения двух приемных катушек равномерное постоянное поле будет наложено на переменные поля и параллельно им, то обе кривые намагничивания переместятся эквидистантно вдоль оси H_m в одном и том же направлении и на одно и то же расстояние — H_0 (пунктирные кривые на рисунке 2). При встречном включении вторичных обмоток возникающая в них э. д. с. будет определяться уже разностью магнитных индукций ($B_1 - B_2$). Так как разность индукций равна нулю, то и на выходе вторичных обмоток э.д.с. равна нулю.

Но если катушки помещены в месте с различной напряженностью постоянных магнитных полей, то кривые намагничивания сместятся на различную величину, т. е. под действием неравномерного постоянного магнитного поля сердечники намагничиваются по-разному и разность индукций ($B_1 - B_2$) уже не будет равна нулю.

Если амплитуда напряженности H_m выбирается малой, а напряженность H_2 — большой, т.е. выполняется соотношение $H_m \ll H_2$, на общем выходе приемных катушек появляется э. д. с.:

$$e(t) = 12bswH_0H_2H_m \cos \omega t.$$

Используя данное свойство рассматриваемого феррозонда, расположим его в качестве инертной массы на упругом подвесе, ориентируя соответствующим образом в географической системе координат (рисунок 3).



1 и 2 – полуэлементы феррозонда; 3 – кольцевой ферритовый модулятор; 4 и 5 – цилиндрические магниты; 6 и 7 – приемные катушки; 8 – базисное основание; 9 – упругий подвес; 10 – геофизическая среда; 11 – локальная неоднородность геофизической среды.

Рисунок 3 – Сейсмоприемник с упругим подвесом.

В этом случае настройка рабочего режима феррозонда заключается в сведении выходного сигнала феррозонда к нулевому значению, что в свою очередь обеспечивает необходимую адаптацию феррозонда к распределению неоднородностей магнитного поля в конкретном месте геосреды.

При возникновении сейсмических возмущений возбуждаются осциллирующие пространственные перемещения феррозонда относительно упругого подвеса.

Если принять, что $H_0(t)$ изменяется по некоторому закону $s(t)$ относительно некоторого среднего уровня H^*_0 , то на выходе феррозонда появится е.д.с.:

$$e_1(t) = 12bswH_2 H_m [H^*_0 + s(t)] \times \cos\omega t = kH^*_0 [1 + a \times s(t)/H^*_0] \times \cos\omega t \quad (1)$$

где $k = 12bswH_2 H_m$ – коэффициент преобразования феррозонда; a – постоянный во времени коэффициент, выбранный так, чтобы амплитуда колебаний всегда была положительной.

В простейшем случае $s(t)$ можно принять в качестве гармонического колебания с частотой $\Omega \ll \omega$ и начальной фазой φ :

$$s(t) = S \times \cos(\Omega t + \varphi),$$

которое является модулирующим колебанием.

Тогда (1) можно переписать в виде:

$$\begin{aligned} e_1(t) &= kH^*_0 [1 + a \times s(t)] \times \cos\omega t = kH^*_0 [1 + a \times S \times \cos(\Omega t + \varphi)/H^*_0] \times \cos\omega t = \\ &= kH^*_0 [1 + M \times \cos(\Omega t + \varphi)/H^*_0] \times \cos\omega t, \end{aligned}$$

где $M = a \times S/H^*_0 = \Delta H^*_{0max}/H^*_0$ – коэффициент модуляции.

Высокочастотное колебание $H^*_0 \times \cos\omega t$, получающееся при $M=0$, т.е. при $s(t) \equiv 0$, является несущим.

Если модулирующее колебание содержит ряд гармонических составляющих и представляется рядом

$$s(t) = \sum_{k=1}^N S_k \cos(\Omega_k t + \varphi_k), \quad (2)$$

то из (1) и (2) получаем модулированное колебание вида

$$\begin{aligned}
e_1(t) &= K \times H_0^* \times \left[1 + a \times \sum_{k=1}^N S_k \times \cos(\Omega_k t + \varphi_k) \right] \times \cos \omega t = \\
&= K \times H_0^* \times \left[1 + \sum_{k=1}^N M_k \times \cos(\Omega_k t + \varphi_k) \right] \times \cos \omega t,
\end{aligned} \tag{3}$$

где $M_k = a \times S_k / H_0^*$ – парциальные коэффициенты модуляции, характеризующие влияние составляющих модулирующего колебания с частотами $\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_N$ на общее изменение амплитуды модулированного колебания.

Колебание, представленное выражением (3) является сложно-модулированным, которое можно представить в виде суммы гармонических колебаний.

Для этого выражение (3) преобразуем к виду

$$e_1(t) = K \times H_0^* \times \cos \omega t + \sum_{k=1}^N \frac{M_k H_0^*}{2} \cos[(\omega + \Omega_k)t + \varphi_k] + \sum_{k=1}^N \frac{M_k H_0^*}{2} \cos[(\omega - \Omega_k)t - \varphi_k].$$

Первое слагаемое является несущим колебанием. Вторая группа гармонических составляющих с частотами $(\omega + \Omega_k)$ – верхняя боковая полоса частот. Третья группа гармонических составляющих $(\omega - \Omega_k)$ – нижняя боковая полоса частот.

Таким образом, при осцилляции феррозонда на его выходе появляется разностная э.д.с., величина и спектральный состав которой связаны с параметрами и направлением сейсмоволн.

Рассмотренный вариант ферросейсмометра, основанный на принципе ориентации по естественным фоновым геомагнитным аномалиям, предназначен для измерений среднего уровня ГАЭ.

Исходя из проведенного анализа физических процессов можно предложить вариант системы регистрации процессов смещения покровных образований, основанный на изменении ориентации сейсмодатчика относительно искусственных локальных источников магнитных полей.

Схема построения такой системы для регистрации процессов смещения покровных образований представлена на рисунке 4.

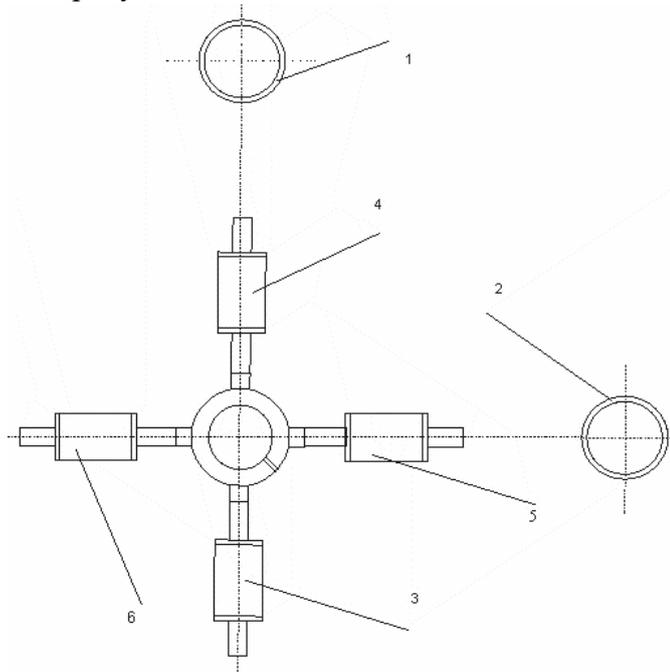


Рисунок 4 – Система регистрации сдвиговых деформаций.

Особенность данного варианта ФС заключается в том, что базовый вариант ФС дополнен двумя ферромагнитными полуэлементами 4 и 3, которые объединены с двумя другими ферромагнитными полуэлементами 5 и 6 в единую магнитную систему посредством кольцевого модулятора.

С помощью генераторных рамок 1 и 2, имеющих строго определенное пространственное расположение относительно геометрических осей магнитной системы ФС, создается определенное фоновое магнитное поле. В связи с тем, что генераторные рамки (магнитные диполи) расположены в плоскости, ортогональной виткам приемных катушек, в исходном состоянии ФС инвариантен к воздействию этого фонового поля. При возникновении пространственного смещения магнитной системы ФС относительно генераторных рамок, вызванной сдвиговыми деформациями в покровных образованиях или в результате воздействия сейсмических волн, на выходе ФС возникнет соответствующий электрический сигнал, амплитуда и фаза которого, а также спектральный состав дают наиболее полную характеристику параметров поверхностных волн, связанных с геодинамическими процессами.

Данная система регистрации сдвиговых деформаций может быть использована в системах мониторинга состояния оползневых процессов.

Различные модификации рассматриваемых ферросейсмометров легко адаптируются для решения многих задач инженерной геофизики в том числе и для исследования различных геофизических процессов, вызываемых природными эндогенными и экзогенными факторами.

Литература

1. Аладьев А.В., Богомоллов Л.М., Боровский Б.В. и др. Закономерности акустической эмиссии образцов геоматериалов, испытываемых на ползучесть при энерговоздействиях физическими полями // Проблемы сейсмологии III-го тысячелетия. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. – С. 168 –172.
2. Беляков А.С. Магнитоупругие акустические геофоны для геофизических исследований // Сейсмические приборы. – М.: ОИФЗ РАН, 2000. – Вып.33. – С. 27 – 45.
3. Брякин И.В. Ферромодуляционный сейсмоприемник Сб. статей «Вестник» Казахского национального технического университета им. К.И. Сатпаева №4 (67). – Алматы, 2008. – С.131–137.
4. Брякин И.В. Ферромодуляционный сейсмоприемник Материалы Международной научной конференции «Современные проблемы математики, информатики и управления».– Алматы, 2008. – С. 121 – 126.
5. Брякин И.В. Ферромодуляционный вибродатчик. Материалы Международной конференции «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения (УКИ'08)». – Москва: ИПУ им. В.А. Трапезникова, 2008.
6. Брякин И.В., Духанин М.А., Першакова Е.Ю. Феррозондовый магнитометр с конденсаторным элементом возбуждения // Проблемы автоматизации и управления. – Бишкек: Илим, 2002. – С.135–145.